

SCMR による心臓 MRI 検査標準化プロトコール

バージョン 1.0 : 2007.3 月

翻訳 石田七香 監修 佐久間 肇

背景 : このプロトコールは、心臓 MRI 検査の標準化を目的として Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR)により作成されたものである。心臓 MRI の進歩に伴ってプロトコールの更新や新たなモジュール追加が行われる可能性がある。

2007 年委員会 :

委員長 - Christopher Kramer MD

委員: Jorg Barkhausen MD, Scott Flamm MD, Raymond Kim MD, Eike Nagel MD

目次 :

一般的技術

1. 負荷検査を安全に行うための必要事項
2. 左室の形態と機能評価モジュール
3. Gd 造影剤投与モジュール
4. 心筋パーフュージョンモジュール
5. 遅延造影モジュール

疾患別プロトコール

虚血性心疾患

6. 急性心筋梗塞
7. 慢性虚血性心疾患及び心筋バイアビリティー
8. ドブタミン負荷 MRI
9. アデノシン負荷パーフュージョン MRI

MRA

10. 末梢 MRA
11. 胸部大動脈 MRA
12. 冠動脈奇形の MRA
13. 肺静脈の MRI 評価

その他

14. 非虚血性左室心筋症
15. 不整脈源性右室心筋変性症(ARVC)
16. 先天性心疾患

17. 弁疾患
18. 心膜疾患
19. 心臓腫瘍

1. 負荷検査を安全に行うための必要事項

準備

1. モニター装置（血圧計、心電図、自覚症状を知らせるアラーム）
2. MR 装置から患者を迅速に避難させる準備と訓練
3. 除細動器
4. 救急薬品
 - a. β -blocker - エスモロールあるいはメトプロロール、ニトログリセリン、アミノフィリンを用意する
 - b. 救急カートに救急薬品をフルセット準備する
 - c. ドブタミン負荷 MRI では画像再構成直後に壁運動をその場で評価する

負荷薬剤

ドブタミン-HCl : 5mg/ml, 点滴静注

アトロピン : 一回 0.25mg、最大投与量 2mg

アデノシン（アデノスキャン） : 1 バイアル 30ml、140 μ g/kg/min

禁忌

ドブタミン

- 著明な高血圧 ($>220/120$ mmHg)
- 不安定狭心症
- 著明な大動脈弁狭窄 (大動脈弁圧格差 >50 mmHg、あるいは大動脈弁口面積 <1 cm²)
- 心房細動
- 閉塞性肥大型心筋症
- 心筋炎、心内膜炎、心外膜炎

アデノシン

- 気管支喘息、気管支痙攣
- 2度・3度房室ブロック
- 洞性徐脈 (HR <45 bpm)
- 低血圧 (<90 mmHg)

患者の準備

1. 負荷検査についての説明と同意
2. 検査の少なくとも 24 時間前から負荷の効果を抑制する可能性のある薬や飲食を避ける。
ドブタミン負荷の場合： β -blocker とニトロール

アデノシン負荷の場合：カフェイン（コーヒー、紅茶、カフェイン入り炭酸飲料やカフェインを含む薬）、テオフィリン

3. 絶食の必要はない

副作用

ドブタミン

高用量ドブタミン負荷では胸痛や動悸が生じる可能性がある。

重篤な副作用の出現率は 0.25%

- 心筋梗塞 (0.07%)
- 心室細動 (0.07%)
- 心室性頻拍性不整脈 (0.1%)

アデノシン

顔面紅潮、胸痛、動悸が生じる可能性がある。

重篤な副作用

- 房室ブロック
- 低血圧
- 洞性頻脈
- 気管支痙攣

2. 左室の形態と機能評価モジュール

1. スカウト像 - 体軸横断、冠状断、矢状断
2. 胸部全体をカバーする水平断（スライス厚 8-10mm）
 - ステディーステート・フリープリセッション（SSFP）又はハーフフーリエ・シングルショット・ターボスピンエコーを使用
3. 左室短軸像を得るためのスカウト像 - シングルショット MRI あるいはシネ MRI
 - a. 二腔長軸像（垂直長軸像）：体軸横断上で僧帽弁の中心と心尖部を結ぶスライス
 - b. 水平長軸像：二腔長軸像上で僧帽弁の中心と心尖部を結ぶスライス
4. SSFP 左室短軸像シネ MRI: 水平長軸像に対して垂直となる角度で僧帽弁から心尖部までを撮像
 - a. スライス厚 6-8mm、ギャップ 2mm
 - b. シネ MRI 各時相間の時間分解能<45msec
 - c. 可能ならパラレルイメーシング使用、2 倍速
5. SSFP 長軸像シネ MRI
 - a. 四腔長軸像：心基部寄りの左室短軸像上で心室中隔を二等分するスライス

(訳注 : 通常は左室の中心と右室の角を結ぶスライス)

- b. 二腔長軸像 : 心基部寄りの左室短軸像上で前壁と下壁を通るスライス
- c. 三腔長軸像 : 左室流出路を含む最も心基部寄り左室短軸像上で、左室流出路と後側壁を通るスライス

6. 解析・読影

- a. 心機能解析ソフトウェアを用いて、収縮末期と拡張末期のすべて左室短軸スライス断面における心内膜と心外膜の断面積を求める。
- b. 乳頭筋を心筋に含めるか否かに関しては定まった見解はない。ただし、乳頭筋を含めるか否かによって計測値の正常範囲は異なるので、比較を行う場合にはいずれかに統一すること。
- c. 心基部寄りの 1 ~ 2 スライス面の計測には特に注意する。収縮期に心基部は心尖部に向かって動くため、収縮末期にはスライス面に左房しか含まれないことがある。一方、拡張末期にはこのスライス面に左室心筋や左室内腔血液が含まれる可能性がある。

3 . ガドリニウム造影剤投与モジュール

	造影剤投与量 (mmol/kg)	注入速度	生食	注入速度
パーフュージョンMRI	0.05-0.1	3-5ml/sec	30ml	4ml/sec
遅延造影MRI	0.15-0.2		20ml	
MRA(頸動脈、腎動脈、胸部腹部大動脈)	0.1-0.2	2-3ml/sec	20ml	2-3ml/sec
タイムリゾルブドMRA	10ml	3-5ml/sec	30ml	4ml/sec
末梢動脈MRA	0.2mM/kg	最初10mlは 1.5ml/sec 残りは0.4-0.8 ml/sec	20ml	0.4-0.8 ml/sec

注記 :

- 1. 投与造影剤容積や速度は撮像時間に依存する : 上記は標準的な撮像時間の場合に推奨される値である。
- 2. 1 モル型の MR 造影剤 (訳注 : Gadovist, 日本未発売) の場合には注入速度は異なる。一般論として、上記の注入速度の 1/2 を用いる。
- 3. 緩和能の高い造影剤 (Multihance, gadobenate dimeglmine など) の場合、投与量は少な

くて良い。

4. 本文書を通じて、「ガドリニウム」とはガドリニウムキレートを意味する。

4. 心筋パーフュージョンモジュール

1. 左室の形態と機能評価モジュールと同じスカウト像
2. GRE-EPI ハイブリッド法, GRE 法, SSFP 法のいずれかによるサチュレーション・リカバリ MRI
3. 左室短軸像 (1 心拍で少なくとも 3 スライス)
 - a. 虚血の評価のために一心拍毎に画像収集を行う必要がある。
 - b. スライス厚 : 8mm
 - c. 可能であれば 2 倍速の平行イメーシング
 - d. 面内空間分解能 < 2-3mm
 - e. 時間分解能 < 100-125ms、できるだけ短く設定
 - f. 造影剤 0.05-0.1mM/kg, 3-5ml/sec+生食 30ml, 3-7ml/sec フラッシュ
 - g. 造影剤注入直後 (造影剤が心筋に到達する前) から呼吸停止開始
 - h. 造影剤が左室心筋を通過するまで 40-50 心拍の間に画像収集

5. 遅延造影モジュール

1. 造影剤 0.15-0.2mmol/kg 注入後、少なくとも 10 分待つ。
注記 : 造影剤投与量が少ない場合には、血液 (訳注 : 及び心筋細胞外液の) 造影剤濃度が低く、十分な病変描出能が得られないため、待ち時間を 10 分より短くしてもよい。
2. 拡張期静止時間に 2D インバージョン・リカバリ GRE 法を撮影する。
3. シネ MRI と同じ撮像断面 (左室短軸像、左室長軸像)
4. シネ MRI と同じスライス厚 : 6-8mm
5. 面内空間分解能 < 1.4-1.8mm
6. 心電図上の R-R 間隔内の収集時間は 200msec、ただし頻脈の際にはそれ以下とする。
7. 正常心筋の信号強度がゼロとなるようにインバージョン・タイムを設定する。
フェーズ・センシティブ・シーケンスでは固定した TI を用いる。
8. 通常 2 心拍に 1 回画像収集するが、徐脈の場合には 1 心拍毎に変更する。また、頻脈や不整脈の場合には 3 心拍毎に設定する。
9. オプション
 - a. 不整脈や呼吸停止困難の患者にはシングルショット・イメージング (SSFP) を代替撮影法として用いる。
 - b. 平行イメーシングを用いた 3D 撮影法もすべての症例ではないが、利用できる。

10. 解析・読影

a. AHA の 17 セグメントモデルを用いた視覚的評価

b. 各々のセグメントにおける遅延造影の transmural extent の評価
(0%, 1-25%, 26-50%, 51-75%, 76-100%)

疾患別プロトコール - 虚血性心疾患

6. 急性心筋梗塞

1. 左室の形態と機能評価モジュール
2. オプションで T2 強調ブラックブラッド画像
 - シーケンスの詳細は非虚血性心筋症のプロトコールを参照
 - 少なくとも壁運動異常のみられる領域には T2 強調 MRI を行うとよい。
3. 心筋パーフュージョンモジュール
4. 微小循環閉塞(microvascular obstruction)を診断するため、造影剤注入後 2-3 分以内に再度心筋パーフュージョンシーケンスによる撮影を繰り返すか、心筋造影 MRI を撮像する。
5. 遅延造影モジュール

7. 陳旧性心筋梗塞と心筋バイアビリティー

1. 左室の形態と機能評価モジュール
2. オプションでアデノシン負荷・安静時パーフュージョン MRI あるいは高用量ドブタミン負荷シネ MRI (詳細は負荷プロトコールを参照) を行い、虚血の有無を診断する。
3. 遅延造影モジュール
4. オプションで低用量ドブタミン負荷 MRI
ドブタミン $10 \mu\text{g/kg/min}$ を 5-10 分間投与し、局所心筋壁厚増加率の改善から心筋収縮能予備能を評価する。
5. 解析・読影
 - a. シネ MRI と遅延造影 MRI を並べてみると診断に役立つ。
 - b. シネ MRI と遅延造影所見を合わせてレポートする。
例「～領域は壁運動異常を示すが心筋バイビリティーは保たれている」

8. ドブタミン負荷 MRI

1. 左室の形態と機能評価モジュール
2. ドブタミン負荷を 3 分間ごとに $10 \mu\text{g/kg/min}$ ずつ、心拍数が基準値に達するまで増量する。ドブタミンを $40 \mu\text{g/kg/min}$ まで増量しても、心拍数が基準値に達しない場合には、アトロピンを追加する。ドブタミン投与を増す度にシネ MRI (左室短軸像 3 断面、左室長軸像を 3 断面) を撮像する。シネ画像は必ずその場で確認する。心拍数の変化に応じて撮影時の心拍数の設定も変える。新たな壁運動異常や重篤な副作用がおきた場合、定

められた最高心拍数に達した場合には、検査を中止する。

3. 解析・読影

a. 4分割の表示フォーマットで、安静時・中等度負荷時・ピーク負荷時のシネ MRI を同期させて同時に観察する。

b. AHA の 17 セグメントモデルを用いて壁運動を記載する。

(normal, mild hypokinetic, severe hypokinetic, akinetic, dyskinetic)

c. 心筋虚血と心筋バイアビリティーの診断を行う。

9. アデノシン負荷パーフュージョン MRI

1. 左室の形態と機能評価モジュール

- 負荷と安静時パーフュージョン MRI の間に実施してもよい。

2. 造影剤注入用とアデノシン負荷用に、左右の腕にそれぞれ 1 本ずつ、計 2 本の静脈ルートを確認する。造影剤は肘正中静脈から注入する事が望ましい。血圧計のカフ圧によって造影剤や負荷薬剤の注入が影響されないように注意する。

3. アデノシン負荷パーフュージョン MRI (140 μ g/kg/min 投与を少なくとも 3-4 分)

オプション - アデノシン注入開始はガントリ外 (撮影テーブル上) で行ってもよい。

a. 心筋パーフュージョンモジュール

b. アデノシン負荷の終了 1 分前に造影剤を注入する。

c. 造影剤が左室心筋を通過するまでの 40-50 心拍の間画像収集してからアデノシン負荷を止める。

4. 安静時パーフュージョン MRI

a. 負荷パーフュージョンの造影剤がウォッシュアウトされるまで 10 分程度待つ。

待ち時間を利用して負荷パーフュージョン MRI を評価したり、シネ MRI の追加撮像(長軸像など)、弁疾患評価等を実施するとよい。

b. 負荷時と同量の造影剤を用いて安静時パーフュージョン MRI を撮像する。

c. 負荷パーフュージョン MRI にて異常所見が見られない場合には、安静時パーフュージョンを省略してもよい。

遅延造影 MRI を行うために、造影剤を投与総量が 0.15-0.2mM/kg となるように追加投与する。

5. 遅延造影

安静時パーフュージョン MRI 後、少なくとも 5 分待ってから撮像する。

6. 解析・読影

a. AHA の 17 セグメントモデルに基づいて視覚的に評価する。

(心尖部を除く 16 セグメントモデルを用いてよい)

b. シネ MRI、負荷時及び安静時パーフュージョン MRI、遅延造影 MRI をすべて並

べて読影するとよい。

10. 末梢 MRA

1. 四肢末梢血管用コイルあるいはコイルを組み合わせて用いる。静脈圧迫用カフが利用できる場合には、大腿部を 60mmHg で圧迫するとよい。
 2. 低空間分解能で体軸横断の血管スカウト像をタイムオブフライト MRA か SSFP 法で撮像する。
 3. 造影タイミング
 - a. オプション 1 - 腹部大動脈遠位レベルで体軸横断にてテストスキャンを行う。Gd 造影剤 2cc と生食フラッシュ 20cc を注入して、造影剤注入開始から造影剤濃度が最高となるまでの時間を決定する。
 - b. オプション 2 - 自動トリガー法を用いて自動的に撮像開始する。
 4. 腹部大動脈の中央部レベルから両足まで冠状断面におけるテーブル移動造影 MRA を撮像する。
 - a. 静脈のコンタミネーションを減少させるために Gd 造影剤注入速度を 2 段階に変化させて注入し、その後生食でフラッシュする。
 - b. スライス厚 1-1.5mm、面内空間分解能 0.8-1.5mm
 - c. スライス枚数は通常 60-80 程度 - 対象となる血管に合わせて調節する。
 - d. 腹部・骨盤～大腿の比較的太い動脈 MRA の空間分解能は比較的粗くてもよいが、下肢血管 MRA の空間分解能は 1mm 以下が望ましい。
腹部・骨盤～大腿の血管の撮像には通常 15-20 秒で完了するが、下肢 MRA の血管の撮像には高空間分解能を得るために 60-90 秒間かかる場合もある。エリプティカルセントリック k 空間データ収集法は下肢の撮像に有利である。可能であれば下肢血管にはタイムリゾルブド法を用いることが望ましい。
 - e. パラレル収集が望ましい。(マルチチャンネルコイルが必要)
 - f. サブトラクションを行うために造影前と造影剤中の 2 回、3D 画像収集を行う。
 5. 解析・読影
 - a. それぞれの部位で MIP と MPR 再構成する。冠状断をスクロールしながら、それぞれの部位で造影 MRA を評価する。狭窄の有無・部位・狭窄度を質的に評価する。
- *代替法：2 回注入法
- 1 倍量の Gd 造影剤を投与して下腿～足のタイムリゾルブド造影 MRA を行う。次に 1 倍量の Gd 造影剤を再度投与して 腹部～大腿の造影 MRA を撮像する。

11. 胸部大動脈 MRA

1. スカウト画像、3方向
2. ハーフフーリエ・シングルショット TSE または SSFP 体軸横断像
(一回呼吸停止・胸部全体)
3. 大動脈全体をカバーする T1 強調 TSE 体軸横断像 (壁内血腫や解離の診断)
4. 大動脈に平行なオブリーク矢状断の SSFP シネ画像
オプションで 3 ポイント位置決めを使用
5. 弁疾患のプロトコールで大動脈弁を評価する。
6. 造影タイミング
 - a. オプション 1 - 腹部大動脈遠位レベルで体軸横断にてテストスキャンを行う。Gd 造影剤 2cc 続いて生食 20cc を注入して、造影剤注入開始から造影剤濃度が最高となるまでの時間を決定する。
 - b. オプション 2 - 自動トリガー法を用いて自動的に撮像開始する。
 - c. オプション 3 - タイミングシーケンスを用いない高速多時相 3D 収集
7. 3D 造影 MRA (造影剤 0.1-0.2mmol/kg)(オプションで心電図同期)
 - a. 空間分解能は少なくとも 1-1.5mm
 - b. 可能であればパラレル収集
 - c. 造影後少なくとも 2 回撮像
8. オプション - 大動脈炎の診断では造影後 T1 強調グラディエントエコー体軸横断を撮像
9. 解析・読影 - MPR 再構成、MIP 及び thin slab MIP

12. 冠動脈奇形の MRA

1. 左室の形態と機能評価モジュール
 - 左室壁運動異常の評価目的
 - RCA の静止時間を正確に決定するために、高時間分解能 (1 フェーズ 20msec 以下) で四腔長軸像を追加撮像する
2. ナビゲータエコー自由呼吸 3D MRA
 - a. 主肺動脈近位レベルから右房中央部レベルまでの範囲 (必要あれば心臓全体) の体軸横断像
 - b. スライス厚 : 1-1.5mm、面内空間分解能 : 約 1mm
 - c. スライス枚数 : 通常 50-80 程度
 - d. パラレル収集が望ましい
 - e. ナビゲーターは右横隔膜上に設定する
 - f. オプションで血管を目立たせるため造影剤を用いてもよい
3. オプション
 - a. 画質不良の場合、ナビゲーター法が使用できない場合、ナビゲータ法の信号不良の場合

合には呼吸停止にて撮像する。

b. T2 強調像が有用であることもある。

13. 肺静脈の MRI 評価 - アブレーション前後

1. 左室の形態と機能評価モジュール (アブレーション前)
2. 肺静脈と左房全体を含む冠状断の呼吸停止造影 MRA
 - 呼吸停止が可能な範囲でできるだけ前方までカバーする。
 - オプションで心電図同期収集を用いてオブリーク像を最適化する。
 - a. Gd 造影剤 (0.1-0.2mM/kg) を 2-3cc/秒で注入
 - b. スライス厚: 1-2mm、面内空間分解能: 1-1.5mm
 - c. スライス枚数: 通常 60-80 程度
 - d. 可能であればパラレル収集 (マルチチャンネルコイルが必要)
 - e. 2-3 回の 3D 収集
 - それぞれの呼吸停止 3D 収集時間は 15-18 秒をこえないようにする。
3. オプション
 - それぞれの肺静脈についてのフェーズコントラスト MRI による血流解析を行う。
4. 解析・読影
 - 冠状断像をスクロールして、造影 MRA を質的に評価する。
 - それぞれの肺静脈共通幹や副静脈の有無、狭窄や血栓の有無に注意しながら、肺静脈の数と位置を記録する。
 - 3D ワークステーションを用いて MPR 解析し、各々の肺静脈口の長径と短径、断面積を算出する。
 - アブレーション前後の画像を並べて比較する。

14. 非虚血性左室心筋症 (心筋炎を含む)

1. 左室の形態と機能評価モジュール
2. 急性期で心筋壊死や浮腫があれば、ブラックブラッド高速 SE T2 強調像も撮像する。
 - a. 呼吸停止、ブラックブラッドプレパレーション併用セグメンテッド FSE 像 (ダブルインバージョンリカバリ法)
 - b. 造影前に撮像すること。
 - c. シネ画像所見に基づいてスライスを選択する。(二腔長軸像、四腔長軸像、心尖部寄・左室中央・心基部寄の 3 つの左室短軸像)
 - d. 拡張中期に画像収集
 - e. スライス厚: 8mm

f. ブラックブラッドプレパレーションのスライス厚は、僧帽弁輪が示す心尖部～心基部方向の動きより大きく設定する。

3. 遅延造影モジュール

- 読影：非虚血性心筋症の種類によって瘢痕を来す好発部位を有する場合があるため、遅延造影のパターンに注目する。

4. オプション

- 合併する虚血の有無を調べるために、アデノシン負荷・安静時パーフュージョン、又は高用量ドブタミン負荷シネ（負荷の項を参照）を行ってもよい。

- 肥大型心筋症の場合、左室流出路の血流画像を考慮する。

15. 不整脈源性右室心筋変性症(ARVC)

1. 左室の形態と機能評価モジュール

- スライス厚：5-6mm

- 左室・右室の機能解析が診断に有用である。

1. 右室流出路を含み右室全体をカバーする SSFP 左室短軸像シネ MRI

- 右室長軸像が有用である場合もある。

2. オプション

a. 体軸横断又は斜位体軸横断ブラックブラッド MRI

b. 脂肪抑制像を用いて、同じスライス面の撮影をくり返す。

c. 遅延造影モジュール（右室心筋の信号強度がゼロとなるように TI を調節する。）

d. 折り返りアーチファクトを受けずに解像度を向上させるために、前胸壁側の表面コイルのみをオンにして撮影を行う。

CMR を実施することにより、右室拡大・右室壁運動異常あるいは心室瘤といった ARVC 診断基準の大基準の一つ、小基準の一つを診断できる可能性がある。大基準は視覚的に明らかな高度の異常、小基準は大基準に該当するほど明瞭ではない中等度の異常とする。脂肪や遅延造影の有無は ARVC 診断基準項目には含まれない。

16. 先天性心疾患

*すべての症例で

1. 左室の形態と機能評価モジュール

- 大動脈弓の上端から左室下壁までをカバーする SSFP 体軸横断シネ MRI を追加する。

（スライス厚：8mm、ギャップ：2mm）

- 乱流を検出するためにはグラディエントエコー・シネ法、あるいはハイブリッドグラディ

エントエコー/エコープランナー法による撮像を適切なスライス面で追加する

2. 上行大動脈と主肺動脈を含む断面のスカウト像
 - a. Q_p/Q_s を計測するための主肺動脈と大動脈に直交する断面の血流エンコードシネ MRI
 - b. 冠状断においてタイムリゾルブド 3D 造影 MRA 又は高速 3D 造影 MRA を繰り返し実施する。

*疾患に応じてプロトコールも変更する必要がある。追加すべきシーケンスとしては、

1. シャント疾患
 - シャント血流に水平又は垂直な断面における血流エンコードシネ MRI
2. 大動脈や肺動脈疾患
 - a. 大動脈に平行な斜位矢状断面の SSFP シネ MRI
 - b. 弁疾患のプロトコールに準じた弁の評価
 - c. 左右肺動脈に沿った SSFP シネあるいはグラディエントエコーシネ MRI

17. 弁疾患

*1.5 テスラや 3 テスラの心臓 MRI は人工弁の患者にも安全に施行できる。

心拍出によって弁にかかる圧力は、磁場による力より何倍も強い。

1. 左室の形態と機能評価モジュール
 - a. 四腔断面像にて僧帽弁と三尖弁の解剖や乱流を観察する
 - b. 三腔断面像にて僧帽弁と大動脈弁を観察する
 - c. 二腔断面像にて僧帽弁を観察する
 - d. 冠状断にて大動脈弁を観察する
 - e. 必要あれば右室長軸像や右室流出路像を追加撮像する
2. オプション
 - a. 精査する弁の弁輪が面内に含まれるスライス断面で SSFP シネ MRI を撮影し、弁の形態を評価する。撮像断面の角度に注意するとともに、弁を含む十分なスライス枚数のシネ MRI を得る。
 - b. グラディエントエコーあるいはハイブリッドグラディエントエコー/エコープランナー MRI - 逆流度が軽度の場合でも感度がよい。
3. 弁尖より遠位部の大血管に直交するスライス断面で血流計測を行う。
 - a. 計測する血流速度に合わせて V_{enc} を調節する。
 - 折り返しが生じない範囲で出来るだけ低い V_{enc} を用いる。
 - b. TE 値はできるだけ低く設定する。
 - c. 静止組織を基準にして速度の補正を行う。

4. 解析・読影

- a. 単一弁逆流の場合には、左室と右室の一回拍出量を計測する。
- b. (僧帽弁逆流流量) = (左室一回拍出量) - (大動脈血流量)
- c. 複数の弁疾患の場合には、大動脈・肺動脈の血流計測による拡張期逆流とシネ MRI による左室・右室一回拍出量を比較して、それぞれの弁の逆流流量を評価する。
- d. (左室大動脈弁口面積) = (左室流出路の速度・時間積分値 / 大動脈弁口部の速度・時間積分値) × 左室流出路の面積
- e. 僧帽弁口のピーク血流から僧帽弁ピーク圧較差を算出する。
(僧帽弁の弁口面積 = 220 / pressure half time)

18. 心膜疾患

1. 左室の形態と機能評価モジュール
2. T1 強調あるいは T2 強調ブラックブラッド高速スピンエコー MRI
 - 2-3 スライス of 左室長軸像と、3-4 スライス of 左室短軸像
 - 心膜嚢胞が鑑別疾患となる場合には、腫瘍プロトコルを参照すること。
4. オプション - 心膜肥厚あれば、心膜と心外膜とのすべりと癒着の有無をみるために、T1 強調グラディエントエコー・タギングシネ MRI (2-3 スライス of 左室長軸像と、1-2 スライス of 左室短軸像) を撮像する
5. オプション (使用可能であれば推奨) - 心室運動と呼吸の相互依存関係を評価するために、自由呼吸下リアルタイム短軸画像を撮像する。
6. 遅延造影モジュール

19. 心臓腫瘍 (塞栓を含む)

1. 左室の形態と機能評価モジュール
2. T1 強調高速スピンエコー MRI : 腫瘍を含む 1-3 スライス
3. 脂肪抑制併用 T2 強調高速スピンエコー MRI (オプションで脂肪抑制なし)
 - 腫瘍を含む 1-3 スライス
 - 詳細なシーケンスは、非虚血性心筋症を参照
4. 腫瘍を含むスライスで心筋パーフュージョン MRI
5. 再度 T1 強調高速スピンエコー MRI
6. オプション - 造影後ステディーステート・シネ MRI
7. 遅延造影モジュール